MEMORIA

SULLA

TRASPIRAZIONE PULMONARE

DI

D. PAOLI

SOCIO CORRISPONDENTE DELLA I. E R. ACCADEMIA DE' GEORGOFILI DI FIRENZE; DELLA R. ACCADEMIA DELLE SCIENZE DI TORINO; DELL'ACCADEMIA DI SCIENZE ED ARTI DI MARSIGLIA; DELLA SOCIETA' FONDATRICE DELLE SCUOLE D'INSEGNAMENTO RECIPROCO DI FIRENZE; DELL'ATENEO VENETO EC.

PESARO 1824.

PRESSO ANNESIO NOBILI STAMPATORE CAMERALE

Con approvazione

I signori W. Allen e W. H. Pepys (a), che per primi, dal vedere che la proporzione dell' acido carbonico che si trova nell' aria assoggettata ad un certo numero di respirazioni, è eguale nel volume al gas ossigene che manca all' aria istessa, ne conclusero la non formazione dell' acqua nel processo della respirazione, diedero occasione alle ricerche del signor Brodie (b), ed agli esperimenti del signor Magendie (c). Egli è noto che il Magendie portando le sue osservazioni su di un uomo, il quale poteva respirare mediante un' apertura fistolosa situata al di sotto della cartilagine tiroide, e su di un animale al quale aveva a tal' uopo operato una analoga apertura nell' aspera arteria; e vedendo, come egli dice, che l' aria che sortiva dai polmoni per tali aperture non era carica di vapore, come è quella che sorte per la bocca e per le narici, credè di poter confermare l' osservazione de' Chimici Inglesi, e

(a) *Bib. Brit. S. et A. t.* 42. *p.* 195. 306.
(b) *Bib. Brit. S. et A. t.* 52. *p.* 301.
(c) *Nouv. Bull. Phil. t.* 2 *p.* 253.

concludere che il vapore di cui è pregna l'aria espirata, anzichè essere il prodotto della combinazione del idrogene svolto dal sangue coll' ossigene dell' aria, non proviene che da una esalazione, che si fa su tutta la membrana che ricuopre le vie aeree; che più precisamente il signor Brodie restringe alla membrana mucosa della bocca e della faringe. Il signor Magendie fece inoltre che una corrente d' aria introdotta, indipendentemente dalla respirazione, nell' apertura della trachea praticata sull' animale, come si è detto di sopra, sortisse per la bocca, attraversando così la laringe e le fauci. Ed egli vide che quest' aria era al suo sortire carica di una quantità notabile di vapore.

Queste osservazioni, degne certamente della più grande attenzione, furono appena da me accennate al mio amico, il chiarissimo signor Professore G. Regnoli, che egli propose di ripeterle sulla giovane Teresa A . . . . . . da lui operata di tracheotomia; sì che egli è mio dovere ascrivere interamente a lui il pensiero di tali ricerche. E questo soggetto che primieramente fu a lui cagione di onore per l'operazione da lui eseguita (d), si rende per la seconda volta a lui argomento d' interessanti osservazioni.

Non farò quì, che accennare le ricerche

(d) *Memoria su di una oper. di tracheotomia. Pesaro* 1823.

da noi istituite su questa giovane, le quali vengono da lui più minutamente descritte nella sua memoria su tale soggetto.

Essendo la temperatura non più bassa di 4.° R., fu nostra prima ispezione l'osservare se l'alito che sortiva dalla cannula adattata all'apertura che essa porta all' aspera arteria, fosse visibile. E quantunque la temperatura, come si è detto, non fosse molto bassa, mentre il Magendie dice di avere istituite le sue osservazioni facendo un gran freddo, l'aria espirata fu a noi visibile. A togliere il dubbio di ogni illusione, fu da noi presentata incontro alla cannula suddetta, alla distanza di tre in quattro poll., una lamina di vetro; e questa si vide sull'istante appannata. Sostituito uno strumento d'acciajo ben forbito alla lamina di vetro, questo si appannò tosto alla distanza di circa mezzo piede. La presenza dell'acqua nell'aria espirata senza avere attraversato la laringe e le fauci, si rese a noi in tal modo evidente. Volli io quindi misurare la tensione del vapore che accompagna il suo alito. Per cui avendo col metodo di Dalton primieramente determinato la tensione del vapore esistente nell'aria ambiente, feci che l'alito che sortiva dall'apertura tracheale, si dirigesse sulle pareti esterne di un vaso di vetro contenente dell'acqua. Aumentando gradatamente la temperatura di questa, ed attendendo in ciascheduno esperimento che il termometro che vi era immerso si

fosse reso stazionario, col doppio oggetto di fare, che anche la superficie esterna del vaso si fosse messa in equilibrio colla temperatura del liquido; vidi che l' alito cessò di condensarsi sul vaso istesso a 16° R., o 20° cent. Dedotta quindi la forza del vapore dell' aria atmosferica, determinata in principio, e che si era da me trovata, secondo la tavola dello stesso Dalton = 0', 2072, da 0, 6337., forza del vapore che nella tavola istessa corrisponde al grado 20. cent., si ha il numero 0, 4265., che rappresenta la forza del vapore contenuto nell' aria espirata dall' apertura tracheale, e proveniente dai polmoni. Ripetuti gli esperimenti di sopra indicati, chiudendo interamente ogni passaggio all' aria per la bocca e per le narici, tutto passò nella maniera istessa; e nè tampoco si osservò da noi per ciò alcun sensibile aumento o diminuzione nella quantità di vapore che accompagna l' aria espirata. E da questa circostanza unita all' osservazione, che quando si lascino aperte le narici e la bocca, da esse si vede sortire in copia il vapore, quantunque la respirazione si eseguisca, può dirsi, interamente per l' apertura praticata nella trachea, ed in modo che non si potrebbe tener chiusa questa apertura oltre li 28. secondi senza molta sua pena, una parte delle conclusioni, che Magendie desume dalle sue esperienze, mi sembra che venga convalidata. Si vede infatti in tal guisa che certamente una copiosa tra-

spirazione si fa dalla mucosa che riveste la laringe e la fauci, se non ostante la piccolissima quantità d'aria che passa per questa via, il vapore si mostra alquanto abbondante. Ed in ciò mi conforta il vedere che le nostre osservazioni sieno in questa parte d'accordo con quelle di un così insigne Fisiologo. In quella parte de' suoi sperimenti e delle sue conclusioni che riguardano la da lui niegata traspirazione polmonare, o formazione dell' acqua nel processo respiratorio, lasciò egli forse di porre a calcolo alcune circostanze; le quali lo accrebbero, se non portato ad altre conclusioni, condotto almeno a non riguardare come assolutamente decisivi i fatti da lui osservati. Il chiarissimo sig. Prof. Cav. D. Meli mio illustre amico, al quale come al sig. Prof. Regnoli feci parola delle osservazioni del Magendie, mi fece osservare che l'apertura fistolosa che avea l'uomo su di cui furono istituite tali osservazioni, non che la tracheotomia dal medesimo operata sugli animali, cagionando un processo irritativo ed una flogosi, e quindi uno stato di eretismo nel sistema mucoso che dalla bocca si propaga pe' bronchi sino alle ultime cellule aeree; eretismo che, come si sa, vale persino ad impedire l'ordinaria sua secrezione mucosa, onde l'interna superficie de' vasi aerei viene lubrificata; questo eretismo, egli dice, può credersi essere stata forse la cagione per cui l'aria espirata per l'apertura tracheale non si presentò al

signor Magendie càrica dell' ordinaria quantità di vapore acquoso. E se gli effetti di questo eretismo negli esperimenti del signor Magendie istesso non si manifestarono nella mucosa delle fauci, dalla quale egli osservò svolgersi gran copia di vapore acquoso, egli puo attribuirsi all' essere la mucosa delle fauci meno irritabile, o per meglio dire, meno suscettibile a concepire una tale irritazione. Infatti la cosa andò altrimenti nella giovane, soggetto delle nostre ricerche; in cui ogni processo irritativo sembra o affatto cessato, o almeno reso insensibile. La evoluzione del vapore acquoso ebbe luogo abbondantemente, come si è detto, non ostante che si possa dubitare, che l' aria giungendo immediatamente ai polmoni, possa cagionare ne' polmoni istessi una irritazione quantunque piccola.

Volle quindi il signor Prof. Regnoli ripetere almeno in parte le osservazioni del Magendie, operando la tracheotomia su di un piccolo cane. Introducendo quindi nell' apertura praticata una siringa, dirigendola verso i bronchi, si vide che l' aria espirata per la medesima non era altrimenti affatto spoglia di umidità; poichè, essendo la temperatura a + 4 ° R., segnatamente nelle forti espirazioni, uno strumento d' acciajo presentato all' apertura della siringa istessa alla distanza di poche linee, si appannava costantemente e tosto. Si vede, che questo esperimento non coincide colle osservazioni del

Magendie, e che quelle ciscostanze che di sopra si sono supposte modificare i suoi risultamenti, o non giungono mai ad impedire interamente la evoluzione del vapore acquoso dai polmoni, ovvero nel cane dal signor Regnoli operato non ebbero luogo.

Dalle cose premesse mi sembra per ciò risultare: che l' acqua di cui è carica l' aria espirata non sia altrimenti il prodotto della combinazione dell' idrogene svolto dal sangue nel polmone, coll' ossigene dell' aria, ma l' effetto di una evoluzione di acqua allo stato di vapore, che si fa su tutta la superficie degl' organi della respirazione. E se veramente questa umidità che proviene dai polmoni, sia per l' acqua di che ne' polmoni istessi il sangue si spoglia; ovvero se ciò proceda dalla perspirazione della mucosa che ricuopre internamente quest' organo istesso, si vedrà tosto, se si rifletta che se su di questa membrana nella parte che riveste le fauci e la laringe, si fa una tale traspirazione, v' ha ragione di credere che ciò avvenga del pari su questa istessa membrana, che si propaga a rivestire la trachea, i bronchi e le cellule de' polmoni. Per cui la seconda opinione prevale certamente alla prima, in modo che, quand' anche si giungesse in seguito per altre vie a dimostrare, che il sangue nel suo passaggio per l' organo della respirazione si spoglia della sua parte acquosa, ciò non basterebbe ad

escludere l' altra sorgente di questa umidità; ma piuttosto ci porterebbe ad ascrivere al tempo stesso a queste due cause la produzione di un solo effetto. La conclusione veramente di sopra riferita, che il Magendie desume dalle sue ricerche, ella è, se si stia alla sua precisa espressione, che il vapore che accompagna l' aria espirata è il prodotto di una esalazione che si fa „ su tutti i punti della membrana che ricuopre le vie aeree ". L' espressione però *vie aeree* da lui usata si restringe certamente a quella sola porzione delle *vie aeree* che sono al di sopra, sì dell' apertura fistolosa che portava l' uomo su di cui egli istituì i suoi sperimenti, che di quella da lui artificialmente praticata su di un animale; poichè una tale conclusione è da lui tratta vedendo che l' aria che veniva dal polmone mediante l' apertura istessa, non era pregna di umidità. La conclusione adunque del signor Magendie, giusta riguardo al modo di formazione di questo vapore, sembra solo inesatta nell' aver ristretto ad una parte soltanto degli organi della respirazione la traspirazione origine del vapore istesso. Inesatta quindi del pari è la conclusioue del signor Brodie, cioè che il vapore proceda unicamente „ dalla membrana mucosa della bocca e della faringe.

Se il vapore, onde è ricca l' aria espirata, proviene da una semplice perspirazione, l' opinione de' Fisici summentovati, i quali credono che nel processo della respirazione non abbia

luogo la formazione dell' acqua, trova un nuovo fondamento in queste osservazioni.

Abbiamo accennato in principio che questa opinione sulla non formazione dell' acqua nel processo della respirazione, fu primieramente suggerita dal vedere, che il volume dell' ossigene che si consuma nella respirazione è eguale a quello del gas acido carbonico prodotto; verità che veramente sembra abbastanza comprovata, non solo dalle ricerche de' Chimici soprannomati Allen e Pepys e Brodie, ma da quelle ancora di Menzies, Crawford, Davy e Dalton. Questa osservazione, da cui a mio credere sembra risultare, che l' ossigene che si perde nella respirazione, serva soltanto alla formazione dell' acido carbonico; condusse alcuni Chimici, e segnatamente Thomson (e), ad un' altra conclusione, cioè che l' unione del carbonio del sangue coll' ossigene dell' aria inspirata, si fa nei polmoni, anzichè credere, come Bouillon Lagrange, che l' ossigene si unisca al sangue, al tempo stesso che dal sangue si svolge il gas acido carbonico e l' acqua, l' uno e l' altra di già formati.

Questa eguaglianza del volume del gas acido carbonico che si trova nell' aria espirata al volume dell' ossigene consumato, che è quanto dire, che tutto l' ossigene che viene consumato

---

(e) *Sys. de Ch. trad. fran.* 1818. *t.* 4. *p.* 691.)

nella respirazione viene rappresentato dall' acido carbonico che si trova nell' aria che ha servito alla respirazione, sembra veramente, come ho detto di sopra, provare che tutto l' ossigene che si perde nella respirazione, venga impiegate nella formazione dell' acido carbonico, e non nella formazione dell' acqua. E quand' anche si voglia porre a calcolo il *deficit* di aria che si vede ne' risultati ottenuti dagli stessi Allen e Pepys, anzichè ascriverlo all' impossibilità di votare il polmone sempre della medesima quantità di aria, come si può veramente credere; si vede, io dico, essere un tal *deficit* evidentemente troppo piccolo per dare origine a tutta l' acqua che noi espiriamo. In fatti i signori Allen e Pepys valutarono una tal perdita, dopo un certo numero di respirazioni, al sei per mille. Il piccolo divario che Thomson trovò fra il volume dell' ossigene consumato e l' acido carbonico formato, ripetendo egli gli esperimenti di Dalton, non è tale da prendersi qui a calcolo. Ed egli stesso considera questa perdita d' ossigene dovuta *alla sottrazione di una parte dell' aria per tutt' altra via che per la respirazione* (f). Inoltre egli dice, che l' eguaglianza fra i volumi dei suddetti due gas trovossi verificata in alcune circostanze. Gli espe-

(f) *l. c. p.* 681.

rimenti di C. L. Berthollet (g) presentano, è vero, un *deficit* non trascurabile di gas ossigene; ma i risultati da lui ottenuti possono essere stati modificati per avere obbligato gli animali a respirare in un dato volume d' aria, finchè questa si era resa non più atta alla respirazione; sicchè io credo che i suoi risultati non si potrebbero riferire con precisione alla respirazione libera fatta in un aria sempre rinnovata. Infatti Allen e Pepys avendo fatto che una data quantità d' aria attraversasse 8. a 10. volte il polmone di un uomo, osservarono la perdita di sei per cento di ossigene (h). Oltracciò avendo Berthollet posto tutto l' intero animale nell' aria su di cui erano dirette le sue ricerche, finchè non sia affatto escluso negli animali in generale l' assorbimento dell' ossigene per la cute, assorbimento che anzi sembra realmente effettuarsi, le sue conclusioni non possono riguardarsi affatto precise; e le modificazioni da lui osservate nell' aria non possono essere interamente ascritte alla respirazione pulmonare.

Ho di sopra accennato che l' eguaglianza fra i volumi dell' ossigene consumato nella respirazione, e del gas acido carbonico prodotto, condusse alcuni a credere che la formazione di

(g) *Mem. d' Arcueil t. 2. p.* 454.
(h) *Bib. Brit. S. et A. t.* 42. *p.* 213.

quest' acido abbia luogo veramente nei polmoni. E questo è ciò che, allontanandomi un poco dal soggetto di questa memoria, io intendo qui di esaminare. Perchè una tale conclusione fosse veramente rigorosa, occorrerebbe primieramente che si potesse a ciascheduna espirazione votare interamente i polmoni; e quindi istituire degli esperimenti su ciascheduna inspirazione ed espirazione separatamente. Ed allora veramente se, esperimentando su diversi individui, in diversi tempi, e variando anche la quantità dell' aria inspirata, si vedesse che il volume del gas acido carbonico di ogni espirazione presa isolatamente, corrispondesse sempre al volume dell' ossigene consumato; allora soltanto si potrebbe, se non credere rigorosamente dimostrato, con bastante ragione almeno argomentare, che la formazione del acido carbonico si formi ne' polmoni esclusivamente. Poichè allora soltanto, vedendo una perfetta corrispondenza fra l' acido che si forma e l' ossigene che si consuma, sarebbe più naturale il credere che questo entrasse nella composizione del primo; anzicchè avere ad immaginare una ragione per cui l' ossigene che si assorbe, produca in ciascheduna respirazione una sempre corrispondente evoluzione del gas acido carbonico già formatosi nel sangue. E poichè si sa che non è possibile votare interamente d' aria i polmoni, per quanto grande sia lo sforzo che a tal uopo si faccia; lo che rende im-

possibile l'istituire esperimenti di tal fatta; la conclusione suddetta non può essere che precipitata. Ed egli è chiaro che questa impossibilità di votare interamente i polmoni renderebbe non concludenti le esperienze su ciascheduna respirazione separatamente, poichè v'ha ragione di credere che la porzione di aria che rimane nelle cellule de' polmoni da una espirazione antecedente, e che viene spostata dalla susseguente, sia più ricca di ogni altra di gas acido carbonico. Ripeterò dunque che l'essere l'ossigene perduto rappresentato dal gas acido carbonico, non prova altrimenti cha la chimica combinazione che dà origine a quest'acido si formi ne' polmoni. All'opposto vedendo che la somma delle porzioni di gas ossigene consumato in un dato tempo qualunque è eguale alla somma dell'ossigene rappresentato dal gas acido carbonico prodotto nel tempo istesso, dà bastante ragione di credere che esso veramente venga impiegato nella formazione dell' acido medesimo. E se ciò vi verifichi ancora in un tempo breve, operando a diverse ore del giorno, come ha fatto il Signor Prout (1), non è meraviglia, per quella corrispondenza che si osserva nell' economia animale fra le secrezioni ed escrezioni, ed i principj che sono destinati a ripararle. Quindi la teoria di Bouillon Lagrange

---

(1) *Ann. of. Phil. II.* 328. *IV.* 331.

sulla respirazione, la quale suppone che l' ossigene che si unisce al sangue in parte si combini all' idrogene per formar l' acqua, non sembra consentanea all' osservazione.

Se, come ho detto, gli esperimenti di Allen e Pepys e di altri non portano alla conclusione tratta da Thomson, alcune fisiologiche riflessioni sembrano validamente contradirla. L' obbiezione già presentata dai Fisici alla teoria di Black sulla respirazione, e desunta dalla temperatura de' polmoni quasi eguale a quella delle altre parti del corpo, ci porta primieramente a credere che questa combinazione dell' ossigene si faccia ne' vasi arteriosi, e non nei polmoni esclusivamente: cioè appena il sangue nel suo passaggio in questo viscere si unisce o all' aria, ovvero al suo ossigene, lo che non è qui luogo di porre ad esame, incomincia a combinarsi alla base dell' aria pura, continuando questa sorte di processo chimico per tutta l' estenzione de' vasi arteriosi. Ed io credo che si debba ciò limitare ai soli vasi arteriosi, poichè il colore oscuro del sangue venoso ci mostra chiaramente che in esso non si contenga altrimenti dell' ossigene libero, o semplicemente ospitante fra le sue parti. Ho detto che tale combinazione comincia appena che il sangue si è caricato di ossigene; ed infatti io penso che ciò abbia principio nel polmone istesso prima che il sangue abbia compiuta la piccola circolazione. Inoltre io porto opinione che questo processo

anche analogamente ai principj della chimica generale, si faccia gradatamente più lento, quanto più il sangue nel suo corso si allontana dai polmoni. Ed eccone la ragione. Se l'ossigenazione del sangue, da cui dee, indipendentemente dalla influenza del sistema nervoso, necessariamente avere origine una parte almeno del calore animale, poichè non potrebbe effettuarsi la formazione dell'acido carbonico senza evoluzione di calore, fosse eguale e ne' polmoni e nelle altre parti del corpo, questo viscere dovrebbe avere una temperatura più bassa. Imperocchè l'evoluzione del vapore acquoso, non che quella dell'acido carbonico, debbono necessariamente produrre un abbassamento di temperatura; e ciò debbe essere continuamente compensato. Questo compenso io opino che possa trovarsi nella formazione dell'acido carbonico, la quale ivi tosto incomincia ad effettuarsi; e che, come ho detto, dee essere quì più energica che nelle altre parti de' vasi arteriosi.

E quì, onde vie meglio far conoscere che la formazione dell'acido carbonico non si eseguisce esclusivamente nei polmoni, mi è grato il potere aggiungere alcune osservazioni di due insigni Chimici Italiani, dell'amicizia de' quali mi tenni sommamente onorato, il Carradori ed il Brugnatelli. Il primo di essi fino dal 1784. (k)

(a) *Diss. sopra la* Teoria *di Crawford p.* 82.

fece riflettere che „ se fosse vero il sistema di Lavoisier, ne' polmoni dovrebbamo avere un calore eccessivo „. Questa riflessione, tanto più ammirabile per l'epoca in cui fu proclamata, fu poscia dal secondo posta in maggior luce, applicando a questa sì interessante funzione della vita, i principj della sua *teoria termossigena*. Lasciando quì di dimostrare la solidità dei fondamenti di questa teoria Italiana, poco seguita perchè poco intesa, e che meriterebbe certamente una maggiore considerazione onde perfezionarla; egli è certo però che il gas ossigene (gas termossigene, Br.) contiene una quantità grandissima di calorico. A Berthollet istesso (l) non isfuggì una tale verità; perlocchè considerando egli appunto l'unione dell'ossigene al carbonio, caso in parte analogo al nostro, nella detonazione del nitro col carbone, onde spiegare il calore eccessivo che si manifesta simultaneamente all'evoluzione di una sostanza gasosa, fu obbligato a riconoscere, che l'ossigene in alcune combinazioni conserva la maggior parte del suo calorico. Ed anche indipendentemente dalla teoria termossigena, la vivacità della combustione, o più esattamente, la immensa quantità di calorico che si svolge nelle differenti combustioni del carbone, non ostante che esse siano ordinariamente accompagnate da evoluzione di sos-

---

(l) *St. Ch.* §. 146.

tanze aeriformi, ci fa tosto conoscere quale immenso calore dovrebbe svolgersi nei polmoni, se ivi si compiesse interamente, ed in uno spazio brevissimo di tempo, la combustione del carbonio del sangue (1).

Il processo della respirazione, del quale tanti insigni chimici e fisiologi si sono occupati, e per cui la scienza si è arricchita di tanti fatti, egli è tuttora uno de' problemi i piu interessanti della fisica animale; poichè quasi può dirsi che tante sieno le teorie che si sono immaginate su di esso, quanti sono i fisici che hanno trattato un tale soggetto. Mi sembra intanto, che dalle ricerche di sopra riferite, e da queste mie considerazioni risulti:

1. Che la evoluzioue del vapore acquoso che accompagna l'alito nostro, si faccia su tutta la superficie degli organi della respirazione;

2. Che questa si faccia per una semplice perspirazione della mucosa che riveste gli organi stessi;

3. Che tutto il gas ossigene che si consuma nella respirazione, venga impiegato nella formazione dell' acido carbonico;

---

(1) *Questa istessa ragione vale ad escludere la formazione dell' acqua ne' polmoni; la quale, come si sa, si effettua sempre con viva deflagrazione.*

4. Che la formazione di quest' acido incominci a farsi nei polmoni, e continui, gradatamente rallentandosi ne' vasi arteriosi, anzicchè compiersi interamente nei polmoni; lo che basterebbe a cagionare in questo viscere un calore eccessivo, e certamente superiore a quello che le osservazioni ci manifestano.